

УДК 620.179

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ
МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ПРИЛОЖЕННЫХ И ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
В ПЛАСТИНЕ ИЗ СТАЛИ 09Г2

А.П. НИЧИПУРУК, А.Н. СТАШКОВ, В.Н. КОСТИН, М.К. КОРХ
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УрО РАН»
Екатеринбург, Россия

Интерес к исследованиям, связанным с разработкой магнитного метода оценки напряженно-деформированного состояния стальных объектов в последние годы не только не ослабевает, но, если судить по публикациям, заметно усиливается. Например, в [1] было показано, что, исследуя зависимость дифференциальной магнитной проницаемости от поля, можно получить параметры критических полей смещения 90^0 и 180^0 доменных границ, чувствительность которых к величине и анизотропии упругих и пластических деформаций достаточно велика. Целью настоящей работы был поиск возможностей измерения этих параметров при локальном намагничивании массивной стальной пластины приставным П-образным преобразователем.

Образец для измерений был изготовлен из отожженной стали 09Г2 и представлял собой пластину длиной 300 мм, шириной 60 мм, толщиной 1,2 мм с утолщениями на концах для его захвата. К образцу прикладывалась и снималась растягивающая нагрузка с усилием до 50 кН. Нагрузку контролировали с помощью мездозы, деформацию определяли по расстоянию между рисками, которые были предварительно нанесены на поверхность образца. Образец в эксперименте довели до разрыва.

Измерения дифференциальной магнитной проницаемости проводили с помощью П-образного приставного датчика. Размер полюсов магнитопровода 12x28 мм, межцентровое расстояние 32 мм. Измерительная обмотка была намотана на центральной части магнитопровода. Схема измерительной установки приведена на рис.1. Измерения проводили до и после снятия нагрузки для каждой ступени нагружения. Максимальное магнитное поле составляло около 320 А/см.

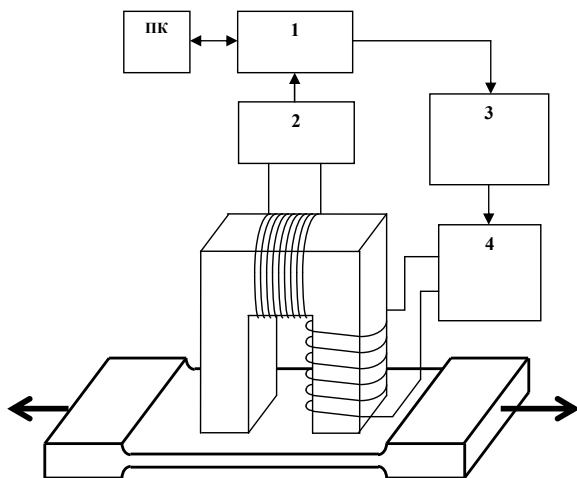


Рис. 1. Структурная схема измерительной установки: 1 – плата АЦП/ЦАП; 2 – усилитель сигналов У7-1; 3 – генератор сигналов Agilent 33220; 4 – усилитель мощности У7-5

Последовательность измерений была следующей. На образец накладывалась статическая нагрузка $\sigma_0 = 0; 2; \dots$ МПа вплоть до разрыва образца. При каждой нагрузке были сняты зависимости дифференциальной проницаемости от поля на петле магнитного гистерезиса. Затем проводилась разгрузка и повторные замеры. Измеренные значения намагничивающего тока и сигнала с катушки пересчитывали в значения напряженности магнитного поля и индукцию соответственно. Для этого предварительно проводили процедуру калибровки, которая заключалась в следующем. Подключали измерительную катушку к микровеберметру Ф192 и записывали петлю магнитного гистерезиса. Далее на баллистической установке была измерена индукция насыщения этого образца. Найден коэффициент пересчета по индукции. Продифференцирована по напряженности магнитного поля индукция и получены значения дифференциальной магнитной проницаемости. Калибровка по второй координате производилась сопоставлением значений тока намагничивания с измеренными в межполюсном пространстве (с помощью магнитометра) значениями напряженности магнитного поля.

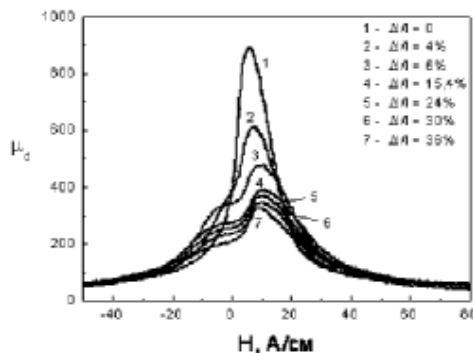


Рис. 2. Зависимости дифференциальной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля для разных значений относительных удлинений пластины

На рис. 2 приведены графики зависимости дифференциальной магнитной проницаемости $\mu_d(H)$, измеренной после разгрузки, от напряженности магнитного поля H при разных относительных удлинениях $\Delta l/l$ (вплоть до разрыва при $\Delta l/l = 36\%$). П-образный датчик размещали вдоль длинной стороны образца. Перемагничивание в данном случае происходит по восходящей ветви петли гистерезиса, то есть слева направо. Характерной особенностью приведенных на рис. 2 графиков является наличие так называемого “перегиба”, наблюдаемого в области полей от насыщения до остаточной индукции. С увеличением величины относительного удлинения этот перегиб становится все более выраженным. Наличие такого перегиба, скорее всего, связано с тем, что в пластине после снятия нагрузки вдоль оси нагружения возникают остаточные напряжения сжатия. В этом направлении формируется магнитная текстура типа «легкая плоскость», вследствие чего векторам намагниченности еще до изменения знака поля энергетически выгодно перевернуться в направлении перпендикулярном направлению измерения – возникает перегиб на указанных кривых. Ничего подобного не наблюдается при измерениях в перпендикулярном направлении (графики не приводятся). В данном случае измерения проводятся вдоль «легкой оси» и кривые при всех степенях деформации имеют форму исходных (до нагружения) зависимостей.

С помощью ранее созданной модели по полученным кривым рассчитали критические поля смещения 90° и 180° доменных границ и поле наведенной магнитной анизотропии H_a (см. рис. 3).

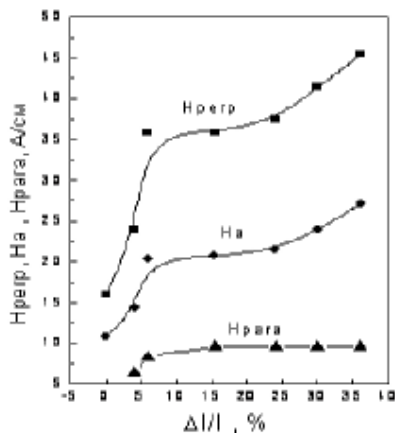


Рис. 3. Зависимости критических полей смещения 90^0 доменных границ $H_{\text{рег}}$, $180^0 - H_{\text{пара}}$ и поля наведенной анизотропии H_a от относительного удлинения.

Очевидно, что в отличие от $H_{\text{пара}}$, которая пропорциональна коэрцитивной силе, критические поля смещения 90^0 доменных границ $H_{\text{рег}}$ и поле наведенной анизотропии H_a чувствительны к изменению степени деформации исследованного материала во всем ее диапазоне вплоть до разрыва образца. Проведенные исследования показали принципиальную возможность измерения дифференциальной проницаемости с помощью приставного П-образного датчика, что в перспективе позволит создать малогабаритную измерительную систему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ничипурук, А. П.** Модель Прейзаха для ферромагнетиков с кубической симметрией II. Эксперимент / А. П. Ничипурук, Е. В. Розенфельд. – ФММ, 1997, – Т. 84, вып. 6. – С. 72–78.

E-mail: nichip@imp.uran.ru